

Θερμιδομετρία – Μεταφορά Θερμότητας

Σκοπός

Ο σκοπός αυτής της άσκησης είναι να υπολογιστεί το ηλεκτρικό ισοδύναμο της θερμότητας, η λανθάνουσα θερμότητα τήξης του πάγου και η εντροπία ανάμειξης.

Περιγραφή

Θα χρησιμοποιήσουμε θερμιδόμετρο το οποίο αποτελείται από δύο αλουμινένια δοχεία που το ένα φωλιάζει μέσα στο άλλο και ανάμεσά τους υπάρχει αέρας που παρέχει θερμομόνωση όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Από το καπάκι του θερμιδομέτρου μπορούν να περάσουν ένα θερμόμετρο ή/και ένας ηλεκτρικός αντιστάτης.

Το εξωτερικό δοχείο λειτουργεί απλά σαν μόνωση και η μάζα του μας είναι αδιάφορη. Αντίθετα η μάζα του εσωτερικού δοχείου μπορεί να συναλλάξει θερμότητα με το περιεχόμενο οπότε πρέπει να είναι γνωστή.

Στην συγκεκριμένη άσκηση θα εκτελεστούν τρία πειράματα:

- A.** Ηλεκτρικό ισοδύναμο της θερμότητας. Αυτό το πείραμα εκτελείται μέσα από το αντίστοιχο αρχείο **Capstone**.
- B.** Λανθάνουσα θερμότητα τήξης του πάγου.
- Γ.** Εντροπία ανάμειξης θερμού και ψυχρού νερού.



Σχήμα 1. Το θερμιδόμετρο και τα εξαρτήματά του.

Πείραμα A

Θεωρητικό υπόβαθρο

Σκοπός αυτής της άσκησης είναι ο προσδιορισμός του ποσού ηλεκτρικής ενέργειας που ισοδυναμεί με συγκεκριμένο ποσό θερμικής ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται μετρώντας το ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει ένας ηλεκτρικός αντιστάτης για να θερμάνει νερό και την αντίστοιχη θερμότητα που μετέφερε στο νερό. Επίσης, προσδιορίζεται η ισοδυναμία Joule με cal (θερμίδα).

Γενικά μιλώντας, όταν θερμότητα προστίθεται σε ένα στερεό ή υγρό, αυξάνεται η εσωτερική του ενέργεια και επομένως η θερμοκρασία του. Η σχέση μεταξύ θερμότητας και της αντίστοιχης μεταβολής στην θερμοκρασία δίνεται από:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

όπου Q = θερμότητα, m = μάζα, c = ειδική θερμότητα και ΔT = μεταβολή στην θερμοκρασία.

Υπάρχουν δύο αντικείμενα που αλλάζουν θερμοκρασία σε αυτό το πείραμα. Το νερό και το εσωτερικό αλουμινένιο δοχείο του θερμιδόμετρου. Τα δύο αυτά έχουν διαφορετικές μάζες και ειδικές θερμότητες, αλλά θα υποθέσουμε ότι και τα δύο έχουν την ίδια μεταβολή στην θερμοκρασία.

Σε αυτό το πείραμα, θερμότητα προστίθεται στο θερμιδόμετρο με έναν ηλεκτρικό αντιστάτη.

Η ηλεκτρική ενέργεια από την πρίζα μετατρέπεται σε θερμότητα μέσα στον αντιστάτη, αυξάνοντας έτσι την θερμοκρασία του νερού και του δοχείου.

Η ηλεκτρική ισχύς καθορίζεται από την τάση που παρέχει η πρίζα και το προκαλούμενο ρεύμα.

$$P = I \cdot V \quad (2)$$

όπου I = ρεύμα που διατρέχει τον αντιστάτη (Amps), V = τάση στα άκρα του αντιστάτη (Volts) και P = ισχύς (Watts = Joules/sec).

Η ισχύς είναι ο ρυθμός παραγωγής ή κατανάλωσης ενέργειας: $\text{Ισχύς} = \text{Ενέργεια} / \text{Χρόνος}$. Οπότε η ενέργεια μπορεί να υπολογιστεί από:

$$\text{Ενέργεια} = (\text{Ισχύς}) \cdot (\text{Χρόνος}) \quad (3)$$

ή στην περίπτωση που η ισχύς δεν είναι σταθερή, η ενέργεια ισούται με το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη Ισχύος-Χρόνου.

1. Το θερμιδόμετρο έχει δύο δοχεία, που χωρίζονται από έναν μονωτικό δακτύλιο (βλ. Σχήμα 1). Για ποιον λόγο υπάρχουν δύο δοχεία;

2. Ένα μόνο δοχείο χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς. Ποιο από τα δύο;

3. Ποιο από τα δύο υλικά χρειάζεται λιγότερη ενέργεια για αυξήσει την θερμοκρασία του κατά έναν βαθμό Κελσίου αν έχουν την ίδια μάζα: το νερό ή το αλουμίνιο;

4. Υπάρχει κάτι άλλο που θερμαίνεται πέρα από το νερό και το δοχείο; Αν ναι, τι; Επηρεάζει αυτό τα αποτελέσματα;

5. Τι είναι το Watt-second?

Ρυθμίσεις

1. Συνδέστε ένα θερμόμετρο με μεταλλικό στέλεχος μέσω bluetooth με το Capstone.

Σημαντικό: Βεβαιωθείτε ότι το μεταλλικό στέλεχος δεν ακουμπάει με τον αντιστάτη. Βλέπε Σχήμα 1.

2. Συνδέστε σε σειρά με τον αντιστάτη το αμπερόμετρο και παράλληλα με τα άκρα του το βολτόμετρο. Συνδέστε τα όργανα μέσω bluetooth με το Capstone.

3. Στην αριθμομηχανή, δημιουργήστε μια εξίσωση για την ισχύ σύμφωνα με την Εξίσωση 2.

Χρησιμοποιήστε το πλήκτρο "[" από το πληκτρολόγιο για να βρείτε το ρεύμα και την τάση από τα όργανα.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Μην έχετε σε λειτουργία τον αντιστάτη όταν αυτός βρίσκεται έξω από το νερό.

Μην πιάνετε τον αντιστάτη με τα χέρια σας. Μπορεί να είναι ζεστός και να καείτε.

Μην εφαρμόζετε πάνω από 10 V στον αντιστάτη. Θα καεί.



Σχήμα 2. Συσκευή καταγραφής.

Εκτέλεση της άσκησης

1. Έχοντας το θερμόμετρο στο τραπέζι για ώρα, πατήστε "Record" για να πάρετε την θερμοκρασία δωματίου. Σταματήστε την εγγραφή.
2. Ζυγίστε το εσωτερικό αλουμινένιο δοχείο του θερμιδόμετρου. Καταγράψτε την μάζα στο παρακάτω πλαίσιο.
3. Ετοιμάστε λίγο νερό σε θερμοκρασία $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ μικρότερη από του δωματίου. Μεταφέρετε περίπου 50 g από αυτό το νερό στο εσωτερικό δοχείο. Αφότου το νερό και το δοχείο έρθουν σε θερμική ισορροπία, μπορείτε να ξεκινήσετε το πείραμα. Πρέπει η θερμοκρασία να είναι περίπου $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ μικρότερη από του δωματίου. Αυτό είναι απαραίτητο για να αντισταθμιστεί η θερμороή από το δωμάτιο προς το δοχείο.
4. Ζυγίστε το δοχείο μαζί με το νερό και υπολογίστε την μάζα του νερού. Καταγράψτε την στο παρακάτω πλαίσιο.
5. Βάλτε το μικρό δοχείο μέσα στο μεγάλο χρησιμοποιώντας τον μαύρο πλαστικό δακτύλιο. Τοποθετήστε το καπάκι και εισάγετε τον αντιστάτη και το θερμόμετρο.
6. Ελέγξτε την θερμοκρασία του νερού ξανά. Αν το νερό έχει ζεσταθεί πολύ, ακουμπήστε το θερμιδόμετρο σε ένα λουτρό πάγου και έπειτα σκουπίστε το καλά.
7. Ξεκινήστε την εγγραφή.

8. Συνδέστε τον αντιστάτη στην πλαστική βάση του τροφοδοτικού. Παρατηρείστε το διάγραμμα ισχύος. Θα πρέπει η ισχύς να είναι κάτω από 10 Watts συνεχώς. Αν η ισχύς ξεπεράσει το όριο, βγάλτε το τροφοδοτικό από την πρίζα.
9. Κουνήστε απαλά το θερμιδόμετρο για να έχετε ομοιόμορφη θερμοκρασία.
10. Παρακολουθήστε την θερμοκρασία στο διάγραμμα μέχρις ότου φτάσει τόσο πάνω από την θερμοκρασία δωματίου όσο κάτω ξεκίνησε. Βγάλτε το τροφοδοτικό από την πρίζα.
11. Συνεχίστε την εγγραφή μέχρι η θερμοκρασία να σχηματίσει ένα 'πλατώ' ή να αρχίσει να μειώνεται. Μην ξεχνάτε να ανακατεύετε το νερό κουνώντας το θερμιδόμετρο.
12. Σταματήστε την εγγραφή.

Επεξεργασία μετρήσεων

1. Χρησιμοποιήστε το εργαλείο συντεταγμένων και συγκεκριμένα το "Delta Tool" για να βρείτε την αλλαγή της θερμοκρασίας, ΔT .

2. Υπολογίστε την συνολική θερμότητα, Q , που προστέθηκε στο νερό και στο δοχείο. Χρησιμοποιήστε κατάλληλες τιμές θερμοχωρητικότητας για το καθένα. Χρησιμοποιήστε την ειδική θερμοχωρητικότητα σε μονάδες $\text{cal}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$ ώστε η θερμότητα να βγει σε θερμίδες. ($c_{\text{water}} = 1.00 \text{ cal}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$ και $c_{\text{Aluminum}} = 0.215 \text{ cal}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$).

$$Q = Q_{\text{Water}} + Q_{\text{Cup}}$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

3. Υπολογίστε το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη Ισχύος-Χρόνου χρησιμοποιώντας το εργαλείο "Area" στο μενού "Statistics". Αυτή είναι η ενέργεια που προσδόθηκε στο νερό και στο δοχείο.

4. Ορίστε την θερμότητα (σε θερμίδες) ίση με την ενέργεια που προσδόθηκε (σε Joule). Υπολογίστε πόσα Joules ισούνται με μία θερμίδα. Βρείτε την πραγματική τιμή και υπολογίστε πόσο διαφέρει η τιμή σας από την πραγματική.

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

1. Σε αυτό το πείραμα ενέργεια κερδήθηκε ή χάθηκε; Εξηγήστε τα αποτελέσματά σας χρησιμοποιώντας την αρχή διατήρησης της ενέργειας.

2. Ήταν η απάντησή σας μεγαλύτερη ή μικρότερη από την αποδεκτή τιμή; Ποιος παράγοντας του πειράματος μπορεί να προκάλεσε αυτό το σφάλμα;

3. Γιατί είναι απαραίτητο να ξεκινήσετε με θερμοκρασία κάτω από αυτήν του δωματίου και να σταματήσετε με αντίστοιχη πάνω;

4. Η θερμίδα που χρησιμοποιείται στα τρόφιμα (με κεφαλαίο C) είναι χίλιες θερμίδες, $1 \text{ Cal} = 1000 \text{ cal}$. Πόσες Calories προσθέσατε στο νερό και το δοχείο; Αν αυτό το ποσό ενέργειας το χρησιμοποιούσατε για να ανυψώσετε το νερό (αυτά τα περίπου 50 g), πόσο ψηλά θα έφτανε το νερό;

Πείραμα Β

Θεωρητικό υπόβαθρο

Όταν θερμότητα μεταφέρεται σε ένα σώμα τότε αυτό αυξάνεται η θερμοκρασία του σύμφωνα με την Εξίσωση 4:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (4)$$

όπου Q είναι η θερμότητα, m είναι η μάζα του σώματος, c είναι η ειδική θερμότητα (ειδική θερμότητα) του σώματος και ΔT είναι η μεταβολή της θερμοκρασίας του σώματος. Η θερμότητα που έχει σαν αποτέλεσμα την μεταβολή της θερμοκρασίας του σώματος ονομάζεται 'αισθητή' θερμότητα.

Αν το σώμα είναι αρχικά στερεό ή υγρό και θερμότητα συνεχίζει να του παρέχεται, τότε κάποια στιγμή το σώμα θα αλλάξει φάση. Η θερμότητα που χρειάζεται για να αλλάξει φάση ονομάζεται 'λανθάνουσα' και δίνεται από την Εξίσωση 5:

$$Q = m \cdot L \quad (5)$$

όπου Q είναι η θερμότητα, m είναι η μάζα του σώματος και L είναι η ειδική λανθάνουσα θερμότητα του σώματος.

Σε αυτό το πείραμα, το νερό+δοχείο χάνουν θερμότητα και ψύχονται, ενώ ο πάγος απορροφά θερμότητα και στην αρχή πρώτα λιώνει (και γίνεται παγό-νερο) και στην συνέχεια το παγό-νερο αυξάνει θερμοκρασία μέχρι να φτάσει σε θερμική ισορροπία με το νερό+δοχείο.

Ρυθμίσεις

Αν πέσει νερό μεταξύ των δύο δοχείων, σκουπίστε το. Δεν θα πρέπει να υπάρχει καθόλου υγρασία ανάμεσα στα δύο δοχεία προκειμένου οι μετρήσεις να έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια.

Για αυτό το πείραμα θα χρειασθούν συμπαγή παγάκια κατά προτίμηση μικρά. Ο πάγος που μόλις έχει βγει από τον καταψύκτη είναι πολύ πιο κρύος από 0 °C, οπότε δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί αμέσως. Πρέπει να περιμένετε μέχρι να αρχίσει να λιώνει.

Εκτέλεση της άσκησης

Καταγράψτε τις μετρήσεις σας στον Πίνακα 1.

1. Μετρήστε την θερμοκρασία δωματίου και ζυγίστε το εσωτερικό δοχείο του θερμιδόμετρου.

- Ετοιμάστε λίγο νερό σε θερμοκρασία περίπου $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ πάνω από την θερμοκρασία δωματίου. Προσθέστε περίπου 40 g από αυτό το νερό στο δοχείο. Ζυγίστε και πάλι το δοχείο και βρείτε την μάζα του νερού. Αφότου το νερό και το δοχείο έρθουν σε θερμική ισορροπία και είστε έτοιμοι να ξεκινήσετε το πείραμα, θα πρέπει η θερμοκρασία ισορροπίας να είναι τουλάχιστον $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ πάνω από την θερμοκρασία δωματίου.
- Συναρμολογήστε το θερμιδόμετρο, βάλτε το καπάκι και ένα θερμόμετρο με μεταλλικό στέλεχος.
- Ετοιμάστε περίπου 5 g πάγου.
- Ελέγξτε ξανά την θερμοκρασία του νερού+δοχείο. Αν δεν έχει την σωστή θερμοκρασία μπορείτε να ακουμπήσετε το θερμιδόμετρο σε ένα λουτρό πάγου, αλλά μετά σκουπίστε το καλά.
- Καταγράψτε την αρχική θερμοκρασία του νερού+δοχείο με ακρίβεια τουλάχιστον $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Σκουπίστε το παγάκι και βάλτε το μέσα στο θερμιδόμετρο. Κουνάτε απαλά το θερμιδόμετρο κάθε λίγο για να ανακατεύεται το περιεχόμενο και να έχει ομοιόμορφη θερμοκρασία.
- Συνεχίστε έως ότου η θερμοκρασία φτάσει την ελάχιστη τιμή της. Σηκώστε το καπάκι και βεβαιωθείτε ότι έχει λιώσει όλος ο πάγος. Αν όχι, σκεπάστε και συνεχίστε. Καταγράψτε την ελάχιστη θερμοκρασία.
- Αφαιρέστε το εσωτερικό δοχείο και ζυγίστε το. Με αυτήν την τιμή θα βρείτε την μάζα του πάγου που προσθέσατε.

Πίνακας 1.

Μάζα δοχείου	(kg)
Μάζα νερού+δοχείο	(kg)
Μάζα νερού	(kg)
Μάζα νερό+δοχείο+πάγος	(kg)
Μάζα πάγου	(kg)
Θερμοκρασία δωματίου	($^{\circ}\text{C}$)
Αρχική θερμοκρασία νερού+δοχείο	($^{\circ}\text{C}$)
Ελάχιστη θερμοκρασία	($^{\circ}\text{C}$)

Επεξεργασία μετρήσεων

- Υπολογίστε την αλλαγή θερμοκρασίας του νερού+δοχείο.

- Υπολογίστε την αλλαγή θερμοκρασίας του παγό-νερου.

3. Υπολογίστε την θερμότητα, Q_{lost} , που έχασε το νερό+δοχείο. Χρησιμοποιήστε την κατάλληλη θερμοχωρητικότητα για κάθε υλικό.

4. Υπολογίστε την θερμότητα, Q_{gained} , που απορρόφησε ο πάγος. Αυτός ο υπολογισμός έχει δύο όρους, λανθάνουσα θερμότητα και αισθητή.

5. Ποιο ποσοστό θερμότητας που παρέχει το νερο+δοχείο απορροφά ο πάγος; Βρείτε την διαφορά:

$$\% \text{ διαφορά} = \frac{Q_{lost} - Q_{gained}}{Q_{lost}} \cdot 100$$

6. Το όλο σύστημα έχασε ή κέρδισε ενέργεια; Εξηγήστε χρησιμοποιώντας την αρχή διατήρησης της ενέργειας.

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

1. Γιατί μπήκατε στον κόπο να ξεκινήσετε με νερό θερμοκρασίας μεγαλύτερης από του δωματίου; Τι πετύχατε με αυτό;

2. Γιατί στους υπολογισμούς περιλαμβάνουμε μόνο το εσωτερικό δοχείο; Γιατί δεν περιλαμβάνουμε και τον μαύρο πλαστικό δακτύλιο; Γιατί δεν είναι ο δακτύλιος φτιαγμένος από αλουμίνιο;

3. Γιατί το κενό ανάμεσα στα δύο δοχείο λειτουργεί ως μόνωση; Ιδανικά τι θα θέλαμε να έχει μέσα σε αυτό το κενό;

4. Γιατί σκουπίσατε το παγάκι προτού το βάλετε μέσα στο θερμιδόμετρο;

Πείραμα Γ

Θεωρητικό υπόβαθρο

Σε πραγματικά συστήματα και σε αυθόρμητες μεταβολές, η εντροπία μετά την μεταβολή είναι μεγαλύτερη από την εντροπία πριν την μεταβολή. Η αλλαγή της εντροπίας (ΔS) ενός συστήματος ισούται με την θερμότητα, dQ , που μεταφέρθηκε στο σύστημα το οποίο έχει θερμοκρασία T και δίνεται από την Εξίσωση 6:

$$dS = \int_{\alpha\rho\chi}^{\tau\epsilon\lambda} \frac{dQ}{T} \quad (6)$$

Η θερμότητα δίνεται από την Εξίσωση 4 και αν θεωρήσουμε τις m και c σταθερές τότε παίρνουμε την Εξίσωση 7:

$$dS = m \cdot c \cdot \int_{\alpha\rho\chi}^{\tau\epsilon\lambda} \frac{dT}{T} \quad (7)$$

Ολοκληρώνοντας παίρνουμε την Εξίσωση 7 για την μεταβολή της εντροπίας:

$$\Delta S = S_{\tau\epsilon\lambda} - S_{\alpha\rho\chi} = m \cdot c \cdot \ln\left(\frac{T_{\tau\epsilon\lambda}}{T_{\alpha\rho\chi}}\right) \quad (8)$$

Στο πείραμα Γ θερμό νερό αναμειγνύεται με ψυχρό μέσα στο θερμιδόμετρο. Το ψυχρό νερό μαζί με το αλουμινένιο δοχείο είναι το ένα σύστημα και το θερμό νερό που προστίθεται μετά είναι το άλλο σύστημα. Η μεταβολή της εντροπίας κάθε συστήματος υπολογίζεται από την Εξίσωση 8.

Τα δύο συστήματα θα έχουν διαφορετικό πρόσημο για την ΔS . Αύξηση της εντροπίας σημαίνει ότι το σύστημα βρέθηκε σε μια κατάσταση μεγαλύτερης αταξίας στο τέλος της μεταβολής από όση είχε στην αρχή. Αν δοθεί

θερμότητα στο σύστημα, $dQ > 0$, τότε από την Εξίσωση 3 προκύπτει ότι η εντροπία θα αυξηθεί. Αυτό σημαίνει ότι η αταξία θα αυξηθεί, δηλαδή θα αυξηθεί η θερμοκρασία.

Εκτέλεση της άσκησης

Καταγράψτε τις μετρήσεις σας στον Πίνακα 2.

Αν πέσει νερό μεταξύ των δύο δοχείων, σκουπίστε το. Δεν θα πρέπει να υπάρχει καθόλου υγρασία ανάμεσα στα δύο δοχεία προκειμένου οι μετρήσεις να έχουν ακρίβεια.

1. Προσθέστε στο δοχείο περίπου 30 g πάγο-νερό, αλλά με σχεδόν καθόλου πάγο.
2. Ζυγίστε το δοχείο και υπολογίστε την μάζα του πάγου-νερού.
3. Συναρμολογήστε το θερμιδόμετρο και τοποθετήστε ένα θερμόμετρο με μεταλλικό στέλεχος. Το νερό πλέον δεν θα πρέπει να περιέχει καθόλου πάγο.
4. Βάλτε περίπου 100 g ζεστό νερό σε ένα μονωμένο δοχείο και βάλτε και ένα δεύτερο θερμόμετρο μέσα εκεί.
5. Κουνήστε απαλά τα δύο δοχεία και καταγράψτε τις αρχικές θερμοκρασίες του ζεστού και του κρύου νερού με ακρίβεια τουλάχιστον 0.1 °C. Ρίξτε περίπου 30 g από το ζεστό νερό μέσα στο θερμιδόμετρο. Θα πρέπει το περιεχόμενο να είναι τουλάχιστον 1 εκατοστό χαμηλότερα από το πάνω μέρος του εσωτερικού δοχείου. Τοποθετήστε το καπάκι και παρακολουθήστε την θερμοκρασία του περιεχομένου. Κουνήστε απαλά το θερμιδόμετρο ώστε να ανακατευτούν τα δύο νερά και καταγράψτε την τελική θερμοκρασία όταν επέλθει ισορροπία.
6. Αφαιρέστε το θερμόμετρο από το θερμιδόμετρο και τοποθετήστε το δεύτερο θερμόμετρο για να ελέγξετε ότι και τα δύο όργανα δείχνουν την ίδια θερμοκρασία. Αν δείχνουν διαφορετικές θερμοκρασίες, καταγράψτε την διαφορά τους και προσαρμόστε τις ενδείξεις κατάλληλα.
7. Ζυγίστε ξανά το εσωτερικό δοχείο και υπολογίστε την μάζα του ζεστού νερού που προσθέσατε.

Πίνακας 2.

Μάζα δοχείου		(kg)
Μάζα πάγου-νερού+δοχείο		(kg)
Μάζα πάγου-νερού		(kg)
Μάζα κρύο νερό+δοχείο+ζεστό νερό		(kg)
Μάζα ζεστού νερού		(kg)
Θερμοκρασία δωματίου		(°C)
Αρχική θερμοκρασία κρύου νερού+δοχείο	(°C)	(K)
Αρχική θερμοκρασία ζεστού νερού	(°C)	(K)
Ένδειξη θερμοκρασίας ισορροπίας 1 ^{ου} θερμομέτρου		(°C)
Ένδειξη θερμοκρασίας ισορροπίας 2 ^{ου} θερμομέτρου		(°C)

Επεξεργασία μετρήσεων

1. Υπολογίστε την αλλαγή της θερμοκρασίας, ΔT του κρύου νερού+δοχείο.

2. Υπολογίστε την αλλαγή της θερμοκρασίας του ζεστού νερού.

3. Υπολογίστε την θερμότητα, Q_{gained} , που προστέθηκε στο κρύο νερό+δοχείο. Χρησιμοποιήστε την κατάλληλη θερμοχωρητικότητα για κάθε υλικό.

4. Υπολογίστε την θερμότητα, Q_{lost} , που αφαιρέθηκε από το ζεστό νερό.

5. Πόση από την θερμότητα που αφαιρέθηκε από το ζεστό νερό, απορροφήθηκε από το κρύο νερό+δοχείο; Υπολογίστε το ποσοστό:

$$\% \text{ διαφορά} = \frac{Q_{lost} - Q_{gained}}{Q_{lost}} \cdot 100$$

6. Αν κάνατε προσεκτικά το πείραμα, αυτό το ποσοστό θα πρέπει να είναι περίπου 1 με 2 %. Αν δεν είναι, ελέγξτε πιθανά λάθη. Αν το ποσοστό είναι πάνω από 5 %, επαναλάβετε το πείραμα.

7. Χρησιμοποιήστε την Εξίσωση 8 για να υπολογίσετε την αλλαγή της εντροπίας του κρύου νερού+δοχείο. Προσέξτε οι υπολογισμοί να γίνουν σε Kelvin. Επίσης προσέξτε ποια είναι η αρχική και ποια η τελική θερμοκρασία, γιατί αυτή η επιλογή επηρεάζει το πρόσημο της αλλαγής εντροπίας.

8. Χρησιμοποιήστε την Εξίσωση 8 για να υπολογίσετε την αλλαγή της εντροπίας του ζεστού νερού.

9. Υπολογίστε την συνολική αλλαγή εντροπίας ολόκληρου του συστήματος.

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

1. Καθορίστε το πρόσημο της αλλαγής εντροπίας του κρύου νερού+δοχείου και της αλλαγής του ζεστού νερού. Εξηγήστε έχοντας κατά νου την αταξία.

2. Καθορίστε το πρόσημο της αλλαγής εντροπίας ολόκληρου του συστήματος. Εξηγήστε έχοντας κατά νου τον ορισμό της εντροπίας και τις αυθόρμητες διαδικασίες